

緩傾斜護岸の越波流量算定図とその越波低減効果に関する実験的研究

玉田 崇*・井上 雅夫**・手塚 崇雄***

海岸護岸における越波流量の推算には、合田らの算定図表が活用されている。しかし、これらは直立護岸と消波護岸のものに限定されているため、近年、建設事例が増加しつつある緩傾斜護岸に適用することはできない。ここでは、3 割、5 割および 7 割の緩傾斜護岸を対象とした不規則波による越波実験を行い、それらの越波流量算定図を作成した。また、それらと合田らによる直立護岸の越波流量算定図とを比較して、越波軽減の観点から有利な護岸形状を、のり先水深・波高比と相対護岸天端高との関係において示した。さらに、実務上の見地から、同一越波流量に対する所要天端高を直立護岸と 3 種類の緩傾斜護岸の場合について求めて、それらの比較を行った。

1. 緒 言

近年、海岸の多目的防御と親水性の観点から、天端高をできるだけ低く抑えた緩傾斜護岸の建設事例は増加しつつある。しかし、その天端高の決定に際しては、水理模型実験などにより越波量を推算する方法が一部では採られているようであるが(片平ら, 1998)、その一般的な方法は明確ではなく、効率的な機能設計が実施されるまでには至っていない。一方、越波防止を目的とした海岸護岸の機能設計においては、従来、合田ら (1976) による越波流量算定図が広く活用されてきた。しかし、これは、護岸形状が直立護岸と消波護岸に限定されているため、緩傾斜護岸の機能設計に直接適用することはできない。このようなことから、緩傾斜護岸における機能設計を効率的に行っていくためには、その越波流量の簡便な算定方法の確立は重要な課題であると言える。

そこで、本研究では、緩傾斜護岸を対象として、越波現象に関係する諸量を種々変化させた不規則波による一連の越波実験を行い、緩傾斜護岸における越波流量算定図を作成しようとした。また、それらの結果と合田ら (1976) の算定図とを比較し、緩傾斜護岸の越波低減効果を明らかにすることによって、その機能設計の向上を図ろうとした。

2. 実験概要

実験で対象とした緩傾斜護岸は、3 割、5 割および 7 割勾配護岸であり、主要な実験条件は表-1 に示すとおりである。実験では、二次元不規則波造波水槽(長さ 25.0 m, 幅 0.5 m, 深さ 0.6 m)内に、図-1 に示すような海底勾配 i が 1/10 および 1/30 の傾斜海岸を設け、その上に緩傾斜護岸を設置して、それらを越波する水量を護岸背後で測定し、越波流量を求めた。

実験に用いた入射波は、有義波周期 T が 1.0 s の Bret-

表-1 実験条件

期待スペクトル		Bretschneider・光易型
沖波波形勾配	H_0/L_0	0.017, 0.036
有義波周期	T (s)	1.0
一様水深	h_0 (cm)	31.0
のり先水深・波高比	h/H_0	-0.27~0.71
相対護岸天端高	h_c/H_0	0.5~1.5
海底勾配	i	1/10, 1/30
のり面勾配	$\cot \theta$	3, 5, 7

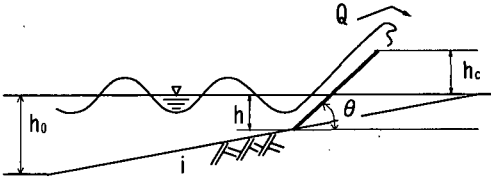


図-1 緩傾斜護岸の模式図と記号

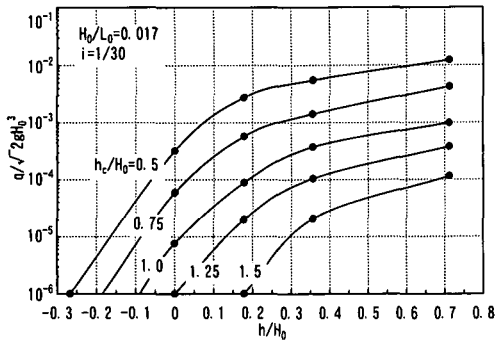
schneider・光易型スペクトルを有する不規則波であり、波形勾配 H_0/L_0 は 0.017 および 0.036 の 2 種類とした。実験は、のり先水深・波高比 h/H_0 と相対護岸天端高 h_c/H_0 を種々変化させた合計 300 ケースについて実施した。

3. 緩傾斜護岸における越波流量算定図

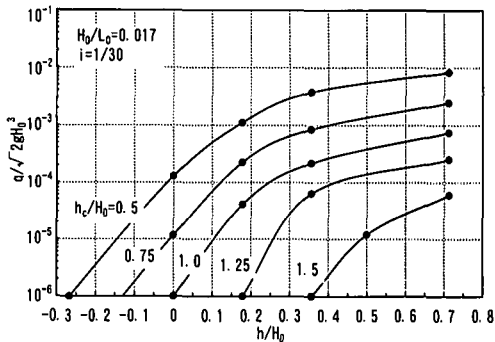
緩傾斜護岸における越波流量算定図の推定曲線は、以下に示す手順により作成した。まず、実験で得られた越波流量 q は、合田ら (1976) と同様に $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の形に無次元化した。また、各水深ごとに $q/\sqrt{2gH_0^3}$ をプロットし、相対護岸天端高 h_c/H_0 ごとに対して実験曲線を描いた。次に、実験値の変動を考慮して、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の実験値が最大でも 20% の誤差の範囲内に入るように、安全側に補正しながら、推定曲線を描いた。

図-2, 3 および 4 には、3 割、5 割および 7 割勾配護岸の越波流量算定図を示した(玉田ら, 2001)。なお、各図の (a) および (b) は海底勾配 i が 1/30 で、波形勾配

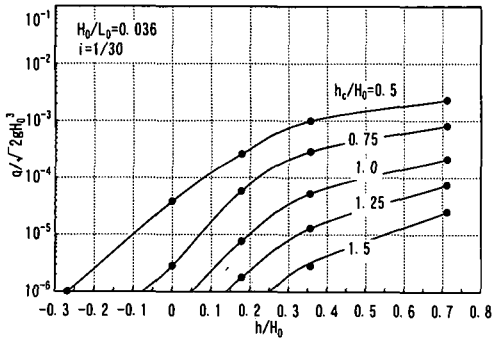
* 正 会 員 工 修 日本建設コンサルタント(株)
** 正 会 員 工 博 関西大学教授 工学部土木工学科
*** 学生会員 関西大学大学院 工学研究科土木工学専攻



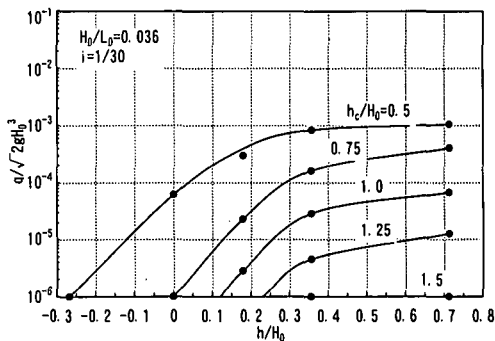
(a) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.017$ の場合



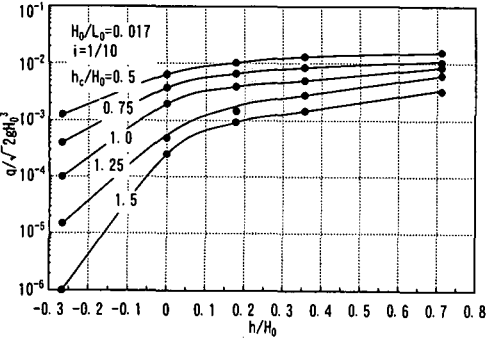
(a) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.017$ の場合



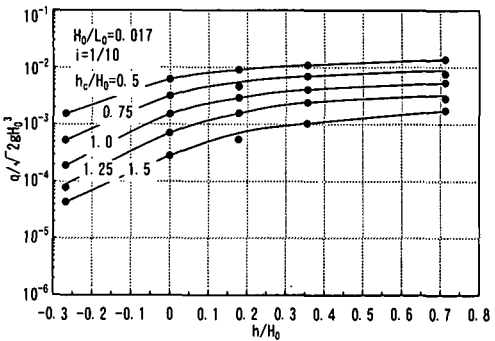
(b) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$ の場合



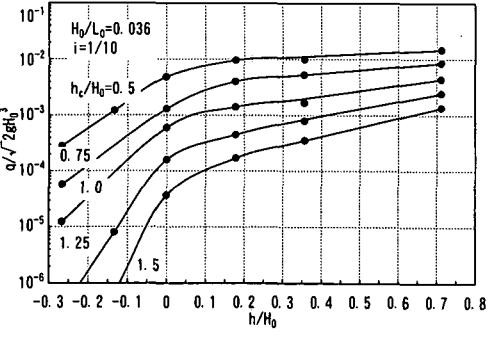
(b) $i=1/30$, $H_0/L₀=0.036$ の場合



(c) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.017$ の場合

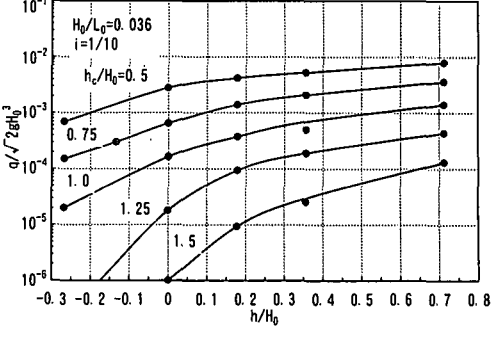


(c) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.017$ の場合



(d) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ の場合

図-2 3割勾配護岸の越波流量算定図



(d) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ の場合

図-3 5割勾配護岸の越波流量算定図

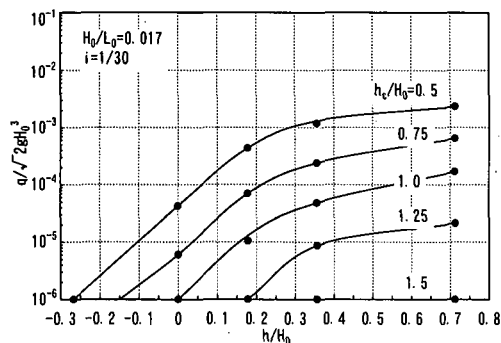
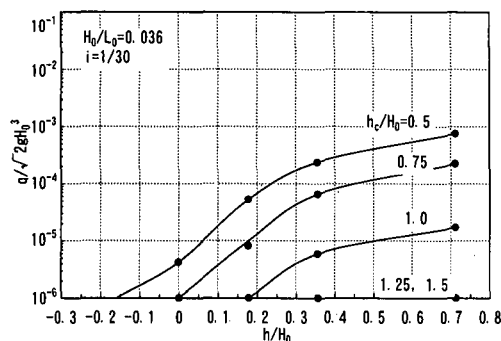
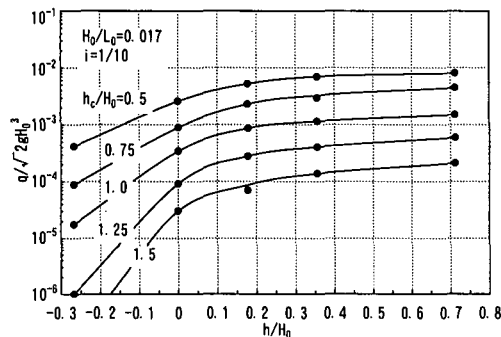
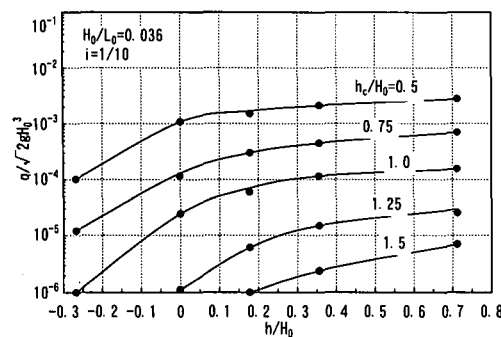

 (a) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.017$ の場合

 (b) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$ の場合

 (c) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.017$ の場合

 (d) $i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ の場合

図-4 7割勾配護岸の越波流量算定図

H_0/L_0 が 0.017 および 0.036 の場合, (c) および (d) は海底勾配 i が 1/10 で, 波形勾配 H_0/L_0 が 0.017 および 0.036 の場合のものである。なお, これらの算定図はのり先水深・波高比 h/H_0 が $-0.27 \sim 0.71$ (負の水深は, 陸上部に護岸を設置した場合), 相対護岸天端高 h_c/H_0 が 0.5~1.5 の範囲において適用できるものである。

これらの図によると, いずれの算定図においても, $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は, 合田ら (1976) と同様に, h/H_0 の増大や h_c/H_0 の減少とともに増大する傾向がみられる。また, 海底勾配の影響は, いずれの h/H_0 においても認められ, 特に, のり先水深の小さいものほどその影響が顕著に現れている。さらに, ほとんどの場合で, のり面勾配が緩いものほど $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は小さくなる。しかし, 陸上部に護岸を設置した場合には, 3割勾配護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が 5割勾配護岸のものよりも小さくなることもある。一方, 波形勾配の影響は, いずれの算定図においてもみられ, 海底勾配が緩い 1/30 の場合のほうが, その影響は顕著である。

4. 越波低減効果の検討

4.1 越波防止効果の優れた護岸形状

図-5, 6, 7 および 8 には, 図-2, 3 および 4 に示した緩傾斜護岸の越波流量算定図と合田ら (1976) による直立護岸のものを比較して, 越波流量の軽減に対して有利な護岸形状を相対護岸天端高 h_c/H_0 とのり先水深・波高比 h/H_0 との関係において示した。ここに, 図中に示した 3 種類の領域は, それぞれ直立護岸, 3割および 5割勾配護岸のうち, $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が最も小さくなる護岸形状を示した。なお, 7割勾配護岸は, どのような条件の場合においても, 緩傾斜護岸 (3割, 5割) のの中では最も $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が小さいため, ここでは比較の対象から除き, 直立護岸だけとの比較を行った。すなわち, 直立護岸の有効な領域のうちでも, 特に斜線を施した部分は 7割勾配護岸と比較しても, なお直立護岸が有効な領域である。換言すれば, 直立護岸の有効な領域のうち, 斜線が施されていない白い部分は, 7割勾配護岸が有効な領域である。

図-5 によると, h/H_0 が 0 よりも小さい場合に, 5割勾配護岸の越波流量低減効果が優れているが, h/H_0 の大きいところでは, 直立護岸が有効である。特に, 天端高が低く, h/H_0 が約 0.1~0.5 のところでは, 直立護岸の越波防止効果は, 7割勾配護岸のものよりも優れている。

図-6 によると, 5割勾配護岸の優位性が広範囲に及んで認められる。また, h/H_0 が $-0.02 \sim -0.25$ の範囲で, 相対護岸天端高の小さいところに限っては, 3割勾配護岸の越波防止機能が優れている。さらに, 7割勾配護岸は, いずれの領域においても $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が最も小さい。これらのことから, 緩傾斜護岸は, 海底勾配が 1/30 のよう

な緩やかな場合には、優れた越波防止機能を発揮すると言える。

図-7によると、ほとんどの領域において直立護岸が有効であり、 h/H_0 が0~0.4の範囲では、いずれの h_c/H_0 においても7割勾配護岸よりも優れている。しかし、 h/H_0 が-0.15よりも小さいところでは、3割勾配護岸の越波防止機能が優れている。

図-8によると、図-7と同様に、ほとんどの領域で直立護岸が越波防止の面からは効果的であり、特に、 h/H_0 が0~0.24で天端高が低い場合に限っては、7割勾配よりも優れた越波防止機能を有していることがわかる。しかし、汀線より陸側に護岸を建設する場合には、3割勾配護岸を採用するのが良く、天端高が高い場合には水深が大きくても、5割勾配護岸の優位性が認められる。

このように、これらの図を用いると、海岸護岸の計画

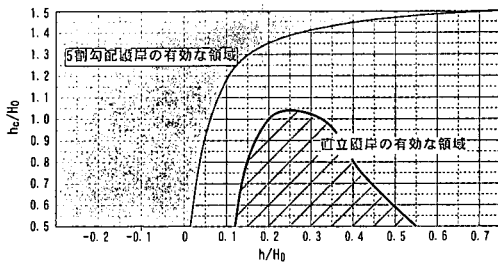


図-5 越波流量の軽減に対して有利な護岸形状
($i=1/30$, $H_0/L_0=0.017$ の場合)

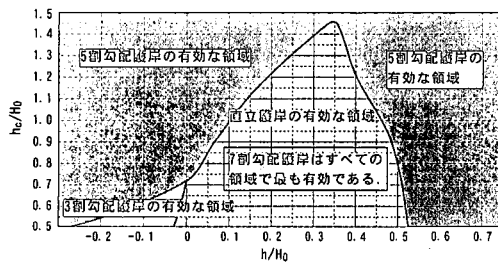


図-6 越波流量の軽減に対して有利な護岸形状
($i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$ の場合)

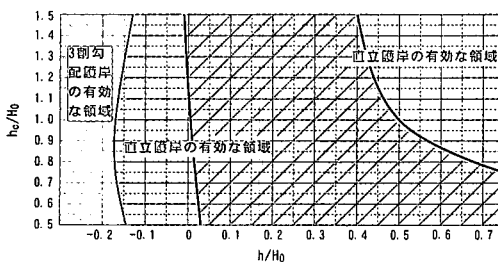


図-7 越波流量の軽減に対して有利な護岸形状
($i=1/10$, $H_0/L_0=0.017$ の場合)

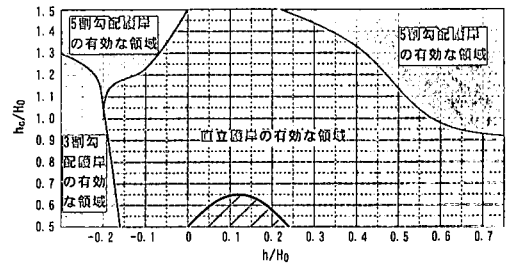


図-8 越波流量の軽減に対して有利な護岸形状
($i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ の場合)

に際して、波形勾配、海底勾配、護岸の設置水深や天端高に応じて、越波防止機能の優れた護岸形状を簡単に見出すことができる。

4.2 緩傾斜護岸と直立護岸の越波流量比

図-9は、緩傾斜護岸と直立護岸の越波流量比 r_q をのり先水深・波高比 h/H_0 との関係で示したものである。ここで、縦軸の越波流量比 r_q とは、著者らの実験によって求めた緩傾斜護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を合田ら(1976)の越波流量算定図から求めた直立護岸のもので除した値である。なお、ここではその一例として、海底勾配 $i=1/30$ 、波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ の場合のものを示しており、図-9(a)および(b)は、それぞれ相対護岸天端高 h_c/H_0 が0.5および1.0の場合のものである。

これらによると、いずれの護岸においても h/H_0 の違いによって、 r_q は大きく変動し、 h/H_0 が0.15~0.3程度で最大値を示す。しかし、その値は、3割および5割勾配護岸では、5程度にもなることがあるのに対して、7割勾配護岸では1以下であり、直立護岸と同程度あるいは、それよりも優れた越波防止効果が期待できる。また、 h/H_0 が-0.1より小さいところでは、いずれの護岸においても r_q は1以下となり、汀線より陸側に護岸を設置する場合には、緩傾斜護岸のほうが優れた越波防止機能を有し

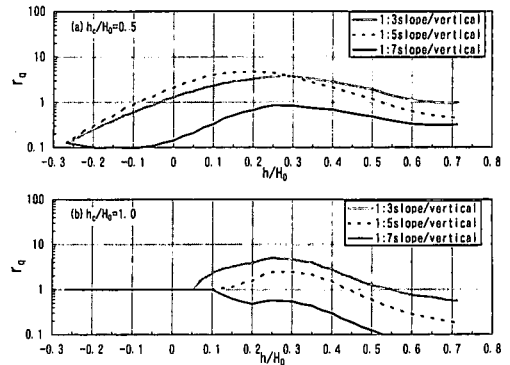


図-9 緩傾斜護岸と直立護岸の越波流量比とりのり先水深・波高比との関係

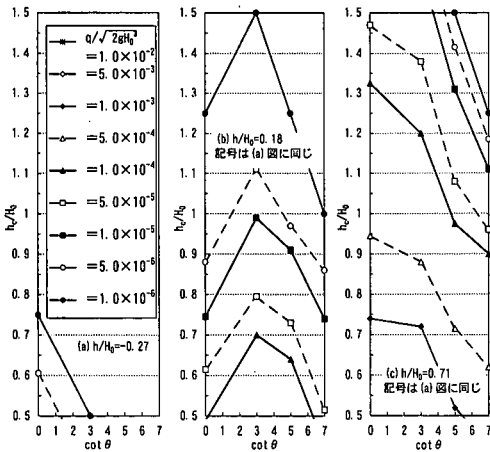


図-10 相対護岸天端高とのり面勾配との関係

ていることがわかる。

4.3 一定の越波流量に対する護岸の所要天端高

図-10 は、ある一定の無次元越波流量に対して、護岸形状ごとにどの程度の天端高が必要なのかを検討するために、相対護岸天端高 h_c/H_0 とのり面勾配 $\cot \theta$ との関係を $q/\sqrt{2gH_0^3}$ をパラメータとして示したものである。なお、ここではその一例として、海底勾配 $i=1/30$ 、波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ のものを示したが、図-10(a), (b) および(c) は、それぞれのり先水深・波高比 h/H_0 が -0.27 、 0.18 および 0.71 の場合のものである。

これらによると、緩傾斜護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を直立護岸のものと同程度にするためには、 h/H_0 が -0.27 では、緩傾斜護岸の h_c/H_0 を、いずれも直立護岸のものに比べて20%以上小さくすることが可能である。一方、 h/H_0 が 0.18 の場合の3割および5割勾配護岸では、 h_c/H_0 を直立護岸よりも著しく大きくしなければ、それと同程度の越波低減効果は期待できない。特に、この傾向は3割勾配護岸に顕著にみられる。また、 h/H_0 が 0.71 のときには、7割勾配護岸の h_c/H_0 を直立護岸のものの60%程度にできる場合もあり、緩傾斜護岸のなかでは、7割勾配護岸が非常に優れた越波低減機能を有していると言える。

ここでは一例のみを示したが、緩傾斜護岸の越波防止機能には、のり面勾配やその設置水深、海底勾配などの違いによって微妙な影響のあることを認識した上で、その機能設計を行うことが肝要である。

5. 結 語

以上、本研究では、緩傾斜護岸の機能設計の向上を図ることを目的として、緩傾斜護岸における越波流量の算定図を提案するとともに、その越波低減効果についても検討してきた。その主要な結果を要約すると以下のようである。

(1) 本研究で提案した緩傾斜護岸の算定図によると、のり先水深の増大や、護岸天端高の減少とともに、越波流量は増大する。また、海底勾配が急で波形勾配が小さいほど、越波流量は全般的に増大する。

(2) 3割勾配護岸は、それを勾配が $1/10$ の傾斜海浜上の陸上部に設置した場合、越波防止対策としては有効である。一方、5割勾配護岸は、勾配が $1/30$ の傾斜海浜上に設置することによって、優れた越波低減機能を発揮する。特に、 h_c/H_0 や H_0/L_0 の大きい場合に、その傾向は顕著である。また、7割勾配護岸は、いずれの場合においても、優れた越波低減機能を有している。

(3) 緩傾斜護岸の越波流量を直立護岸のものと同程度にするためには、 h/H_0 が -0.27 のときには、緩傾斜護岸の h_c/H_0 を直立護岸のものよりも20%程度小さくすることが可能である。しかし、 h/H_0 が $0 \sim 0.36$ の範囲では、緩傾斜護岸の h_c/H_0 を直立護岸のものよりも著しく大きくしなければ、それと同程度の越波低減効果は期待できない。特に、この傾向は3割勾配護岸が著しい。また、 h/H_0 が 0.71 のときには、7割勾配護岸の h_c/H_0 を直立護岸のものの60%程度にできる場合もある。

最後に、本研究の実験や資料整理には、現在、関西大学大学院の田中克彦、矢作建設工業の野崎裕史の両君、また、論文のまとめには関西大学大学院の片山敦史君が大いに助力してくれたことを明記して謝意を表する。なお、この研究には、平成14年度関西大学学術研究助成基金を使用した。

参 考 文 献

- 片平和夫・杉野輝彦・中井 章・森川高德・金田研一郎 (1998): 消波工を有する緩傾斜埋立護岸の越波特性に関する実験的研究 (その3), 海洋開発論文集, 第14巻, pp. 399-404.
- 合田良実・岸良安治・神山 豊 (1976): 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号, pp. 3-44.
- 玉田 崇・井上裕規・井上雅夫 (2001): 緩傾斜護岸における越波流量算定図の提案と時間的変動特性に関する考察, 海洋開発論文集, 第17巻, pp. 311-316.